

# EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO SOBRE LA MADURACIÓN FENOLÓGICA DE FRUTOS DE CAFÉ EN PRE-COSECHA

Carlos Andrés Unigarro Muñoz \*, Luis Carlos Imbachí Quinchua \*\*, Jenny Paola Pabón Usaquén \*\*\*, Valentina Osorio Pérez \*\*\*, José Ricardo Acuña Zornosa \*

Unigarro, C. A., Imbachí, L. C., Pabón, J., Osorio, V., & Acuña-Zornosa, J. R. (2021). Efecto del ácido salicílico sobre la maduración fenológica de frutos de café en pre-cosecha. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72205. <https://doi.org/10.38141/10778/72205>



En el presente estudio se evaluó el efecto del ácido salicílico (AS), en dos tiempos de aplicación, sobre la maduración fenológica de frutos de café, al retardar un pase de recolección durante la pre-cosecha. En las Estaciones Experimentales Paraguaicito y La Catalina sobre café variedad Castillo<sup>®</sup>, se instalaron seis tratamientos correspondientes a tres dosis de AS [0,5, 1,0 y 2,0 mmol L<sup>-1</sup>], aplicadas en dos tiempos [una semana antes y durante el evento de recolección principal (ERP)] con un pase de recolección retenido; más dos controles sin aplicación de inhibidores [C1: recolección normal, C2: recolección con retención de pase], en parcelas bajo un diseño completamente al azar. En los muestreos a nivel de rama y muestra de 1,0 kg, se evaluaron las variables: porcentaje de frutos verdes, pintones, maduros, sobremaduros, cosechables y secos; además del porcentaje de frutos caídos a nivel de rama, la producción de café cereza por parcela y la calidad de la bebida según la escala SCA. Los resultados mostraron que el AS aplicado una semana antes del ERP, a una dosis de 1,0 mmol L<sup>-1</sup>, y en la semana del ERP, a una dosis de 2,0 mmol L<sup>-1</sup>, retardaron el desarrollo fenológico de los frutos cosechables y secos a nivel de rama, y levemente el desarrollo de los frutos sobremaduros a nivel de muestra de 1,0 kg, pero no en los frutos cosechables de la muestra para La Catalina. Mientras que en Paraguaicito no hubo efecto a ningún nivel. Esto indica que el efecto del AS sobre la maduración es bajo cuando la retención del pase se extiende por más de 20 días después del ERP, y por lo tanto su uso no sería recomendable bajo estas condiciones. La producción y puntaje SCA no presentaron diferencias estadísticas asociadas con el efecto del AS.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, desarrollo de frutos, inhibidor de etileno, retención de recolección.

## EFFECT OF SALICYLIC ACID ON THE PHENOLOGICAL RIPENING OF COFFEE FRUITS IN PRE-HARVEST

In the present study, the effect of salicylic acid (SA) in two application times on the phenological maturation of coffee fruits by delaying a picking pass during pre-harvest was evaluated. At Paraguaicito and La Catalina Experiment Stations on Castillo<sup>®</sup> variety coffee, six treatments were installed corresponding to three doses of SA [0.5, 1.0, and 2.0 mmol L<sup>-1</sup>] applied during two times [one week before and during the main picking event (ERP)] with a retained picking pass; plus, two controls without application of inhibitors [C1: normal picking, C2: picking with pass retention], applied to parcels under a completely random design. In the samplings at the branch level and sample level of 1.0 kg, the variables: percentage of green, pintones, ripe, over-ripe, and dry fruits were evaluated, in addition to the percentage of fallen fruits at the branch level, the production of cherry coffee per parcel and the quality of the drink according to the SCA scale. The results showed that the SA applied one week before the ERP at a dose of 1.0 mmol L<sup>-1</sup> and in the week of the ERP at a dose of 2.0 mmol L<sup>-1</sup> delayed the phenological development of the harvestable and dried fruits at the branch level, but not at the sample level at La Catalina, while in Paraguaicito there was no effect at any level. This indicates the low effect of SA on ripening when harvesting retention is extended for more than 20 days after the ERP, and therefore its use is not recommended under these conditions. The production and SCA score did not show any significant effect associated to the effect of SA.

**Keywords:** *Coffea arabica*, fruit development, ethylene inhibitor, delaying a picking.

\* Investigador Científico I e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Fisiología Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-7344-3211>, <https://orcid.org/0000-0001-6935-2264>

\*\* Asistente de Investigación. Disciplina de Biometría, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-4356-694X>

\*\*\* Asistente de Investigación e Investigador Científico I, respectivamente. Disciplina de Calidad, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297>, <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>



El café es una de las materias primas agrícolas más comercializadas en el mundo y se produce en más de 68 países, ubicados entre las latitudes 22°Norte y 24°Sur, sobre un total de 10,6 millones de hectáreas (Lashermes et al., 2008). De las 124 especies que componen el género *Coffea* (Davis et al., 2011), solo las especies *Coffea arabica* L. (café arábigo) y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta) producen el café que se consume en el mundo (Lashermes et al., 2008); con un 58 % y 42% de la producción global, de acuerdo con la International Coffee Organization–ICO (2019).

En Colombia, el tercer productor de café a nivel mundial (ICO, 2019), se produjeron 14.752.000 sacos (un saco = 60 kg) de café arábigo, procedentes de cultivos establecidos en 853.698 hectáreas a 2019, según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia–FNC (2020). El beneficio económico del café no solo proviene de la productividad del cultivo, también lo hace de la calidad de la bebida, la cual es afectada en parte por el estado de maduración de los frutos cuando son recolectados (DaMatta et al., 2010; Pereira et al., 2005).

Una proporción mayor al 2,5% de frutos verdes en la masa recolectada disminuye la calidad sensorial de la bebida (Puerta, 2000), debido a los sabores amargos y astringentes presentes (Farah et al., 2006). Bebidas de café preparadas con frutos en estado pintón, maduro y sobre-maduro no presentaron problemas de calidad o defectos, mientras que las bebidas elaboradas con frutos verdes y secos se caracterizaron por su baja calidad sensorial (Marín et al., 2003). Esto tiene particular relevancia para la zona cafetera colombiana, donde la diversidad climática hace que se presenten múltiples eventos de floración a lo largo del año (Camayo et al., 2003), hecho que conlleva a que siempre haya frutos de café en la planta, pero en diferentes estados de

maduración (Sanz & Duque, 2020). Lo cual, hace que varias recolecciones selectivas de frutos sean necesarias durante los periodos de cosecha (Upegui & Valencia, 1972). Para solventar esta situación, se han desarrollado diversos sistemas de recolección manual y con maquinaria agrícola (Sanz & Duque, 2020), así como técnicas, entre las que se destaca la retención de pases, que consiste en mantener por más tiempo los frutos maduros en los árboles, a fin de incrementar su disposición al momento de la recolección (Sanz et al., 2018). En todos los casos mencionados, la maduración de los frutos ocurre de forma natural.

La maduración del fruto es un proceso coordinado e irreversible, donde ocurren cambios bioquímicos, fisiológicos, estructurales y organolépticos, que influyen en las características de calidad deseables por los consumidores (Lelievre et al., 1997; Prasanna et al., 2007). Los frutos según el patrón respiratorio y la síntesis de etileno durante la maduración pueden ser clasificados en climatéricos o no-climatéricos; sin embargo, se ha reportado que una especie puede tener variedades climatéricas y no climatéricas (Giovannoni, 2004), como en los casos del melón (Périn et al., 2002) y la pera (Yamane et al., 2007). Así mismo pueden presentarse algunas variedades con un fenotipo climatérico suprimido, el cual ocurre cuando la biosíntesis del etileno durante la maduración aumenta, pero de forma lenta y baja respecto a las variedades propiamente climatéricas, un ejemplo de ello son las variedades de ciruela “Early Golden” (climatérico) y “Shiro” (no-climatérico) (El-Sharkawy et al., 2007). En *C. arabica* L., los frutos logran la madurez fisiológica cuando alcanzan el 90% de su tamaño final y tienen un color verde leve (estado BBCH-79), aunque en términos organolépticos, la madurez se logra cuando el exocarpo adquiere un color rojo (estado BBCH-88) (Arcila et al., 2002). El cambio de coloración está asociado con la

regulación de los genes involucrados en la biosíntesis del etileno (Pereira et al., 2005) y con los picos en las tasas de respiración y producción de etileno (Ságio et al., 2013), además del efecto positivo que tienen las aplicaciones exógenas de “Ethephon” (ácido 2-cloroetilfosfónico) (Scudeler et al., 2004; Winston et al., 1992). Lo anterior, sugiere que el café es un fruto constitutivamente del tipo climatérico (Ságio et al., 2014). Sin embargo, debe considerarse que entre las variedades de *C. arabica* L. hay diferencias en las tasas de respiración y producción de etileno respecto al típico comportamiento climatérico, así, por ejemplo, la variedad Catucaí 785-15 muestra un pico definido en las tasas de respiración y de producción de etileno común a los frutos climatéricos, mientras que la variedad Acauã exhibe un comportamiento similar, pero con menores niveles de CO<sub>2</sub> y etileno, en lo que podría considerarse una fase climatérica atenuada (Ságio et al., 2013). Esto también implica que el etileno está directamente implicado en la determinación del tiempo de maduración, puesto que las mayores concentraciones de etileno en la variedad Catucaí 785-15 permitirían que un mayor número de frutos alcancen el estado de cereza (estado BBCH-88) al mismo tiempo (Ságio et al., 2014).

El proceso de maduración de los frutos climatéricos puede modificarse en pre-cosecha o pos-cosecha, al intervenir en los mecanismos de acción del etileno, usando precursores o inhibidores químicos (Balaguera et al., 2014; Serna et al., 2012). Los inhibidores químicos retardan el proceso natural de maduración en los frutos, posibilitando que mantengan su madurez organoléptica por más tiempo, tanto en precosecha como en poscosecha, adicionalmente también pueden disminuir la abscisión de los frutos (Abeles et al., 1992). En Brasil, el inhibidor de etileno acetato de potasio en su formulación comercial MATHURY® (SATIS,

Brasil), logró reducir la caída de frutos en café variedad Catucaí Vermelho IAC 15 (Dias et al., 2014); sin embargo, en la variedad Tupi Amarelo (IAC 5162) este producto no produjo ningún cambio en la maduración respecto al testigo (Rodrigues, 2015). En Colombia, los inhibidores aminoetoxi-vinil-glicina (100 µg L<sup>-1</sup>) y ácido salicílico (1 mM), lograron retardar el proceso de maduración, al reducir entre 16,0% y 16,6% el porcentaje de frutos sobremaduros e incrementar entre 12,8% y 14,3% el porcentaje de frutos maduros cuando se retuvo un pase de recolección en café variedad Castillo® respecto al testigo (pase retenido sin aplicación de inhibidores), mientras que los inhibidores acetato de potasio y ácido aminooxiacético no mostraron diferencias (Unigarro et al., 2018).

El ácido salicílico (AS) es un regulador de crecimiento en las plantas, con un importante rol en el incremento del vigor bajo condiciones de estrés biótico y abiótico, en los procesos de desarrollo y en la regulación del crecimiento vegetativo (Hayat et al., 2010). De igual forma, el AS mejora el color y el sabor del fruto (Chamkha et al., 2003), así como las propiedades físicas como la firmeza (Shafiee et al., 2010), el peso (Elwan & El-Hamahmy, 2009) y el tamaño (Marzouk & Kassem, 2011), y en la bioquímica de los frutos con la disminución de la respiración y biosíntesis del etileno (Srivastava & Dwivedi, 2000). Esto sugiere un rol antagonista con la síntesis del etileno, que tendría potenciales beneficios en los procesos de maduración tanto de frutos climatéricos [banano (Srivastava & Dwivedi, 2000), pera (Leslie & Romani, 1988), tomate (Wang et al., 2011)] como de no climatéricos [fresa (Karlidag et al., 2009), uva (Lo'ay, 2017)]. A pesar de las pocas investigaciones sobre la acumulación del AS durante el desarrollo de los frutos y su rol en la maduración (Davies & Böttcher, 2014), se conoce que la concentración endógena de AS libre es mayor durante el desarrollo del

fruto y que a partir del inicio de la maduración comienzan a decrecer progresivamente hacia el momento de cosecha (Pérez-Llorca et al., 2019). Aplicaciones exógenas de AS podrían retardar el proceso de maduración al reducir la actividad respiratoria como ocurre en banano (Srivastava & Dwivedi, 2000). El presente estudio tuvo por objetivo evaluar el efecto de tres dosis del inhibidor de etileno AS, en dos tiempos de aplicación, sobre la maduración fenológica de frutos de café cuando se retiene un pase de recolección.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en las Estaciones Experimentales de La Catalina (04°44'00" N, 75°44' W, 1.315 m de altitud, municipio de Pereira – Risaralda) y Paraguaicito (04°23' N, 75°44' W, 1.203 m de altitud, municipio de Buenavista – Quindío), sobre cultivos de café (*Coffea arabica* L.) variedad Castillo® con 36 meses de edad. En las localidades se evaluó el inhibidor de etileno AS (ácido 2-hidroxibenzoico, Sigma Chemical Co. UK) asperjado en tres dosis (0,5 mM, 1,0 mM y 2,0 mM), cada una aplicada en dos tiempos diferentes, dependiendo del evento de recolección principal (ERP) [a: una semana antes del ERP, b: durante el ERP] para un total de seis tratamientos, más dos controles, como se describe en la Tabla 1. En todos los tratamientos se realizó la retención del pase de recolección, la cual consistió en dejar durante 22 días los frutos maduros en planta, desde el ERP hasta el evento de recolección secundario (ERS), entendiéndose que el ERP y el ERS hacen referencia al momento de realizar la labor y no a la ejecución de la labor. La aplicación de los tratamientos se realizó con un equipo de aspersión manual operado a 2,0 bares de presión, apuntando la boquilla desde la parte ventral de la rama hacia los frutos, a 10,0 cm de distancia. Adicionalmente, al AS se le adicionó etanol al 96% (0,1 mL L<sup>-1</sup>)

previo a su mezcla con el solvente (agua), para facilitar su solubilización (Leslie & Romani, 1986). En la mezcla de AS con el solvente se agregó el coadyuvante agrícola SILWET® L-77 AG (0,5 cc L<sup>-1</sup>), como adherente a la superficie del fruto. Para los controles no se aplicaron inhibidores, pero difirieron en los tiempos de recolección de frutos maduros como se describe en la Tabla 1 y se detalla a continuación. En el Control 1 de recolección normal (C1) se recolectaron los frutos maduros en el ERP y en ERS, haciendo una cosecha normal sin retención de pase; en el Control 2, de recolección con retención de pase (C2), no se realizó la primera recolección de frutos maduros en ERP y se los mantuvo como en los tratamientos hasta el ERS.

Los tratamientos y controles fueron establecidos en parcelas efectivas de nueve plantas (3 x 3) con diez repeticiones, bajo un diseño completamente al azar. El ERP para Paraguaicito se llevó a cabo el 4 de noviembre de 2019, con base en los registros de floración y por el estado de madurez en los frutos, mientras que para La Catalina fue hecho el 30 de noviembre de 2019. Tanto en los tratamientos como en los controles, los frutos sobre-maduros y secos en la planta fueron retirados previamente a la primera aplicación de los inhibidores, dejando únicamente los frutos verdes, pintones y maduros. Esto con el fin de evaluar el efecto del inhibidor en el proceso de maduración de los frutos pintones y maduros, los cuales son los estados de madurez sobre los cuales el inhibidor tendría el mayor efecto.

En la parcela efectiva se seleccionó el árbol central y en él se marcó una rama en el tercio medio superior. En esta rama se realizó un primer registro en la semana del ERP, contando el número total de frutos por rama, y luego en el ERS se hizo un segundo registro de los frutos por rama, pero esta vez por estado de maduración (verdes, pintones, maduros, sobre-

maduros y secos), según los estados de Sanz et al. (2018). El número de frutos caídos o absición se calculó como la diferencia entre el número total de frutos en el primer registro y el número total de frutos del segundo. En el Control 1, este procedimiento varió, porque además de contar el número total de frutos por rama en el primer registro, también se contaron y retiraron los frutos maduros de la rama, los cuales fueron posteriormente adicionados al conteo de frutos maduros realizado en el segundo registro para su análisis. Al dividir el número de frutos por estado de madurez del segundo registro y el número de frutos caídos por el número total de frutos por rama del primer registro, se calcularon las **variables a nivel de rama**: porcentaje de frutos verdes (Verdes\_R), porcentaje de frutos pintones (Pintones\_R), porcentaje de frutos maduros (Maduros\_R), porcentaje de frutos sobremaduros (Sobremaduros\_R), porcentaje de frutos cosechables (Cosechable\_R = Pintones\_R + Maduros\_R + Sobremaduros\_R), porcentaje de frutos secos (Secos\_R) y porcentaje de frutos caídos (Caídos\_R).

Una vez finalizado el segundo conteo de frutos en las ramas en ERS, se realizó la recolección del café cereza producido por la parcela efectiva, el cual fue registrado en kilogramos para la variable producción de café cereza (producción). Del café cereza recolectado por parcela, se tomó una muestra de 1,0 kg. En la muestra, los frutos se clasificaron y pesaron según su estado de madurez en verdes, pintones, maduros, sobremaduros (Sanz et al., 2018), y además se clasificaron los frutos secos encontrados. Con estos datos se determinaron las **variables a nivel de muestra**: porcentaje de frutos verdes en muestra (Verdes\_M), porcentaje de frutos pintones en muestra (Pintones\_M), porcentaje de frutos maduros en muestra (Maduros\_M), porcentaje de frutos sobremaduros en muestra (Sobre-maduros\_M), porcentaje de frutos cosechables en muestra (Cosechable\_M = Pintones\_M + Maduros\_M + Sobremaduros\_M) y porcentaje de frutos secos en muestra (Secos\_M), con base en el peso de la muestra. El resto del café cereza recolectado por parcela fue beneficiado por vía húmeda

**Tabla 1.** Descripción de dosis de ácido salicílico, tiempo de aplicación y tiempo de recolección para los tratamientos y controles evaluados en café variedad Castillo®.

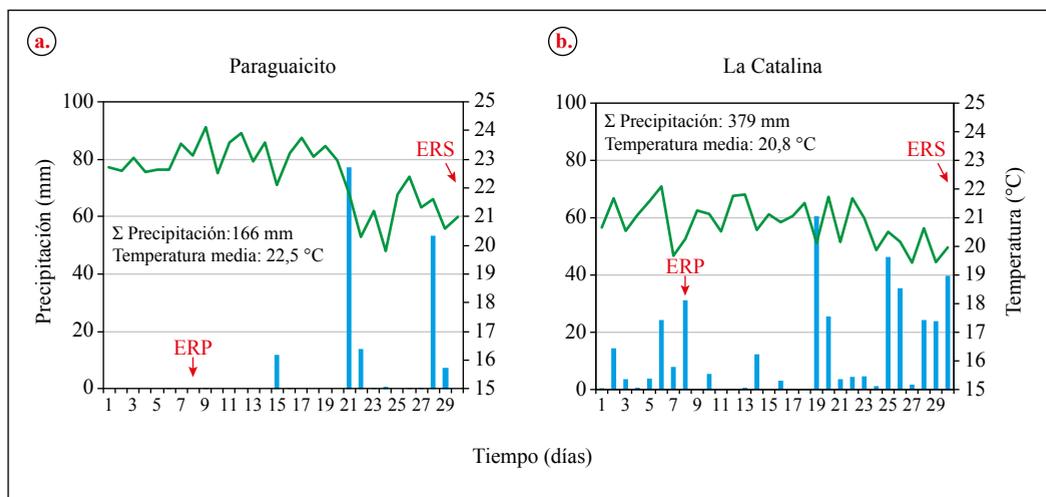
Tratamiento / control	Dosis ácido salicílico	Tiempo de aplicación	Tiempo de recolección
1	0,5 mmol L <sup>-1</sup> *	Una semana antes ERP*	Solo 22 días después ERP*
2	1,0 mmol L <sup>-1</sup> *	Una semana antes ERP*	Solo 22 días después ERP*
3	2,0 mmol L <sup>-1</sup> *	Una semana antes ERP*	Solo 22 días después ERP*
4	0,5 mmol L <sup>-1</sup> *	En semana del ERP*	Solo 22 días después ERP*
5	1,0 mmol L <sup>-1</sup> *	En semana del ERP*	Solo 22 días después ERP*
6	2,0 mmol L <sup>-1</sup> *	En semana del ERP*	Solo 22 días después ERP*
C1	-	Ninguno	En ERP* y 22 días después ERP*
C2	-	Ninguno	Solo 22 días después ERP*

\* Evento de recolección principal.

y secado hasta que los granos alcanzaron una humedad final entre el 12%-13% (café pergamino seco). Para la evaluación de la calidad sensorial se extrajo una muestra de 2,0 kg de frutos maduros de la masa cosechada por parcela, esta muestra fue beneficiada para obtener de 600-700 g de café pergamino seco. Luego, se procesó de acuerdo con protocolos de la Asociación Americana de Cafés Especiales (Specialty Coffee Association–SCA) en el Laboratorio de Calidad de Cenicafé. La valoración SCA para el puntaje total de la muestra se dio en una escala de 0 a 100 y se registró en la variable llamada Calidad SCA. Los datos meteorológicos de precipitación y de temperatura diarios se obtuvieron de la red meteorológica automática de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y se presentan en la Figura 1.

El análisis estadístico se realizó mediante un modelo de análisis de varianza paramétrico

de una-vía, usando el estadístico F ( $Pr > F$ ), cuando el supuesto de normalidad y heterogeneidad se cumplió. En caso contrario, se procedió de dos formas diferentes, según la naturaleza de los datos: 1) transformando los datos con la función arcoseno de la raíz cuadrada de la variable original para lograr la normalidad (Sabin & Stafford, 1990), y realizando el modelo paramétrico de una-vía con el estadístico F ( $Pr > F$ ); o 2) analizando los datos originales mediante el modelo no paramétrico de una vía con la prueba de Kruskal-Wallis usando el estadístico  $X^2$ , cuando no se logró la normalidad en los datos transformados. Las comparaciones *post-hoc* con los controles, se realizaron a un nivel de significancia de 5%, y dependiendo de la naturaleza paramétrica o no de los datos, se ejecutó la prueba de Dunnett o de Holm (Brunner et al., 2018), respectivamente. Los análisis estadísticos fueron realizados con el producto SAS/STAT® del software SAS® 9.4 (SAS Institute Inc, 2018).



**Figura 1.** Registro diario de precipitación (barras) y temperatura (línea) en las localidades de **a)** Paraguaicito y **b)** La Catalina durante el período de estudio (los días en el eje x son registros independientes generalizados para las fechas de recolección de datos de las variables de interés de cada localidad). ERP: evento de recolección principal, ERS: evento de recolección secundario.

## RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra la proporción de frutos en ramas clasificados según tres grados de maduración (verdes, cosechables y secos), además del porcentaje de frutos caídos. En Paraguaicito, las tres variables de desarrollo de frutos (Verdes\_R, Cosechable\_R y Secos\_R) y la de abscisión frutos (Caídos\_R) no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos y controles (Figura 2 a, c, e, g). En La Catalina, la variable Cosechable\_R mostró que el C1 (recolección normal) fue significativamente mayor (25%) que el C2 (retención de pase) y que a la mayoría de los tratamientos con AS (1, 3, 4 y 5) (entre 26% y 34%), a excepción de los tratamientos 2 y 6, los cuales presentaron el porcentaje de frutos cosechables más próximo al de una recolección normal (C1) con diferencias del 21% y 16%, respectivamente, y aunque ninguno de los tratamientos llegó a ser estadísticamente diferente del C2, el Tratamiento 6 presentó la mayor diferencia positiva (8%) con respecto a este (Figura 2 d). La falta de diferencias estadísticas en los tratamientos 2 y 6 con respecto al C1, muestra un efecto detectable en el desarrollo, puesto que, de no haber ningún efecto las diferencias estarían presentes como en el caso de los controles (ver C1 vs C2) o en el resto de los tratamientos (Figura 2 d). Por otra parte, la variable Secos\_R mostró que el tratamiento 3 y el C2 fueron significativamente mayores (19% y 15%, respectivamente) que el C1, en tanto que el tratamiento 6 y el C1 fueron significativamente menores (16% y 15%, respectivamente) que el C2 (Figura 2 f), en este último caso la diferencia del tratamiento 6 indica un efecto positivo del AS sobre desarrollo fenológico de los frutos, puesto que fue menor que el valor obtenido con una recolección con retención de pase (C2) y muy similar al de una recolección normal (C1). Para las variables Verdes\_R y Caídos\_R no hubo diferencias en este sitio

(Figura 2 b, h). Sin embargo, la variable Caídos\_R mostró que los tratamientos 2 y 6 presentaron una abscisión de frutos menor que la del C2 (retención de pase) con valores de 8% y 11%, respectivamente, y muy similares a la observada en el C1 (recolección normal) (Figura 2 g, h).

En la Tabla 2 se analizó el porcentaje de desarrollo de los frutos cosechables en ramas a través de los tres estados de maduración que lo componen (Pintones\_R, Maduros\_R y Sobre-maduros\_R). En Paraguaicito, la variable Maduros\_R mostró que los tratamientos 1, 4 y 5 fueron estadísticamente inferiores (22% a 24%) que el C1, mientras que los tratamientos 2, 3 y 6 con diferencias entre el 17% y 18% fueron estadísticamente iguales al C1 y lo más próximo a una recolección normal, aunque ninguno de los tratamientos o el C1 difirieron del C2 (Tabla 2). En cuanto a la variable Sobre-maduros\_R, los tratamientos 1, 2 y 4 fueron significativamente mayores (entre 19% y 27%) que el C1, señalando que en estos tratamientos el desarrollo de los frutos fue más acelerado que lo observado en los tratamientos 3, 5 y 6, los cuales no difirieron de la recolección normal (C1), con diferencias del 7% al 12%. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos con AS y el C1 no difirieron significativamente de la recolección con retención de pase (C2), excepto por el tratamiento 1, el cual llegó a presentar una proporción de sobre-maduros significativamente mayor (21%) (Tabla 2). En el contexto, cabe resaltar el comportamiento del tratamiento 2, el cual a pesar de mostrar el desarrollo obtenido en el C1 logró acumular un buen porcentaje de frutos maduros y sobre-maduros en conjunto, con respecto al C2 (15%, respectivamente) (Tabla 2), hecho que se refleja descriptivamente en una mayor proporción cosechables (10%, respectivamente) (Figura 2 c). En La Catalina todos los tratamientos y el C2 fueron significativamente menores (entre 18% a 36%) que el C1 en la variable

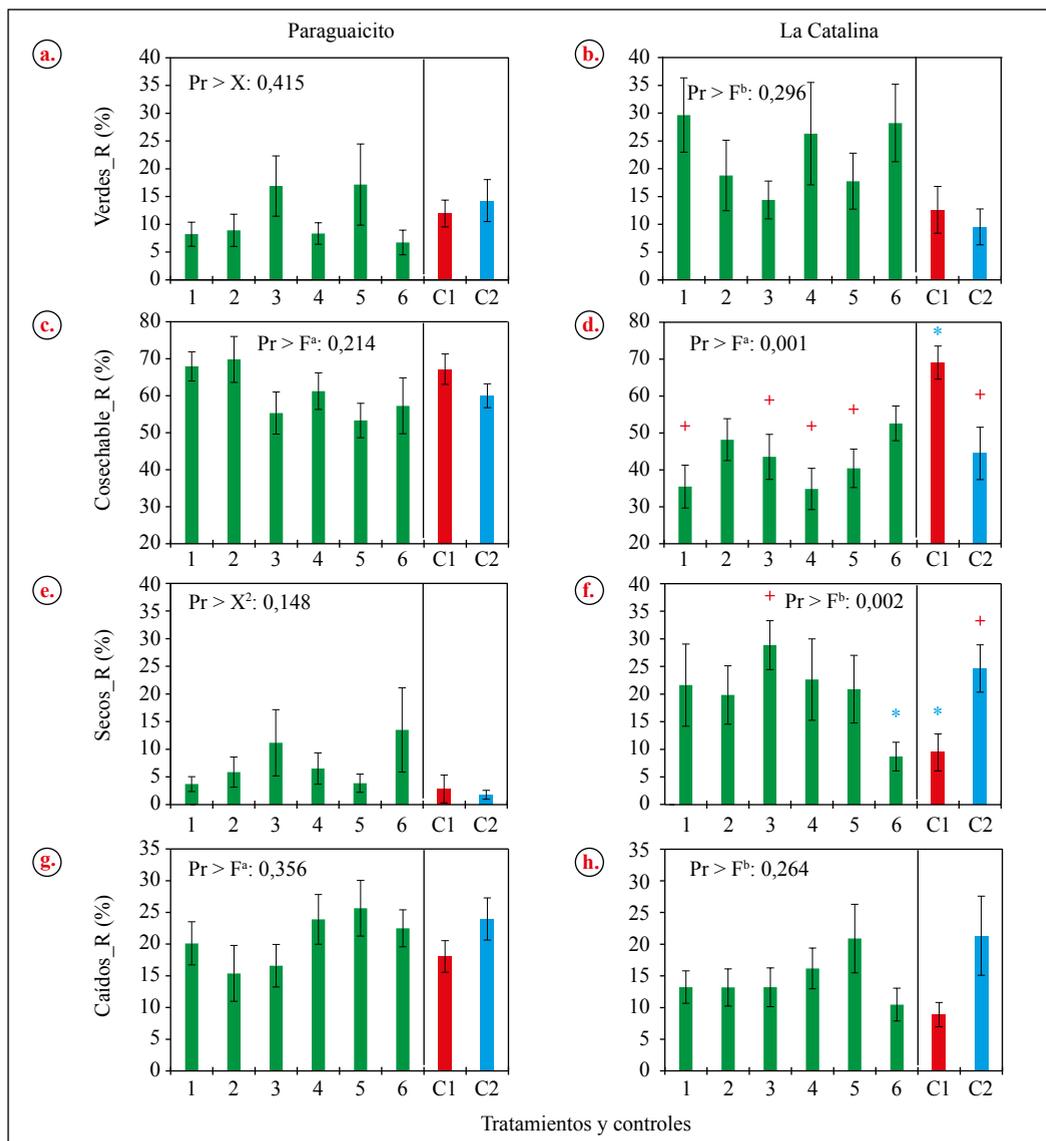
Maduros\_R, no obstante, cabe mencionar que el tratamiento 6 evidenció la menor diferencia descriptiva (Tabla 2). En el resto de las variables de la Tabla 2 no se encontraron diferencias significativas.

El porcentaje de frutos para tres grados de maduración (verdes, cosechables y secos), en una muestra de 1,0 kg se presenta en la Figura 3. En La Catalina se observó que todos los tratamientos y el C2 fueron estadísticamente menores (entre 8% y 14%) al C1 en la variable Cosechable\_M (Figura 3 d), mientras que el porcentaje de frutos secos presentó un comportamiento inverso, al mostrar que los tratamientos y el C2 fueron significativamente mayores que C1 (Figura 3 f), así mismo, se observó en estas dos variables que ninguno de los tratamientos difirió estadísticamente de la recolección con retención de pase (C2) (Figura 3 d, f). Esto indica que los tratamientos con AS no tuvieron ningún efecto en cuanto al desarrollo de los frutos con respecto a los controles. En el resto de las variables evaluadas a nivel de muestra, tanto en Paraguaicito como en La Catalina, no se encontraron diferencias estadísticas (Figura 3 a, b, c, e).

En la Tabla 3 se analizan los tres grados de maduración (Pintones\_M, Maduros\_M y Sobre-maduros\_M) que componen el porcentaje de frutos cosechables en la muestra de 1,0 kg. En Paraguaicito, la variable Pintones\_M mostró que C1 fue estadísticamente mayor que el tratamiento 1 y 5 (15% y 13%, respectivamente), mientras que el C2 no difirió estadísticamente de los tratamientos o el C1 (Tabla 3); para la variable Sobre-maduros\_M, todos los tratamientos y el C2 fueron significativamente mayores (entre el 12% al 22%) que el C1, pero en ningún caso los tratamientos difirieron estadísticamente del C2 (Tabla 3), además, ninguna diferencia fue encontrada para la variable Maduros\_M (Tabla 3). Esto indica que ninguno de los tratamientos tuvo un efecto

destacable en el desarrollo de los frutos con respecto a la retención de pase (C2) o con la recolección normal (C1). Por otra parte, en La Catalina las diferencias estadísticas de la variable Maduros\_M indicaron que el C1 fue significativamente mayor que todos los tratamientos y el C2 (entre 14% y 23%), lo cual no resalta ningún cambio de interés por acción de los tratamientos con AS (Tabla 3). Sin embargo, en la variable Sobre-maduros\_M donde el C1 fue estadísticamente inferior (entre 10% al 14 %) que los tratamientos 1, 3, 4 y 5 y el C2, pero no que los tratamientos 2 y 6 con diferencias del 9% y 8% respectivamente, sugiere un leve pero perceptible retardo en la maduración fenológica de los frutos sobre-maduros de los tratamientos 2 y 6, aunque ningún tratamiento llegó a ser significativamente diferente al C2 (Tabla 3).

En cuanto a la producción por parcela, La Catalina mostró que los tratamientos con AS y el C2 fueron significativamente menores que el C1 (Figura 4 b), lo cual fue esperado debido a la pérdida de peso fresco y de humedad que sufren los frutos maduros de los tratamientos con AS y el C2 cuando avanzan de edad (estado sobre-maduro o seco) y no son recolectados en la primera retención del pase, hecho que no ocurrió con el C1, donde los frutos maduros al ser recolectados en el primer pase no perdieron humedad o materia seca por acción de la maduración. Además, si se considera que la cantidad de masa cosechada en la primera recolección (media= 7,5 kg) del C1 fue un 31% más pesada que la recolectada en el segundo pase (media= 5,2 kg), puede deducirse que en el C1 la pérdida de peso de los frutos fue menor, puesto que una menor cantidad de frutos maduros se expuso al efecto de la pérdida de peso por acción de la maduración hasta la segunda recolección. Por el contrario, en Paraguaicito no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos y controles (Figura 4 a), muy posiblemente



**Figura 2.** Porcentaje de frutos verdes (Verde\_R) [a, b], cosechables (Cosechable\_R) [c, d], secos (Secos\_R) [e, f] y caídos (Caídos\_R) [g, h] en ramas de café variedad Castillo®, para seis tratamientos (1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM, 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM, 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM, 4: semana del ERP-AS 0,5 mM, 5: semana del ERP-AS 1,0 mM, 6: semana del ERP-AS 2,0 mM) y dos controles (C1: Control 1 recolección normal, C2: Control 2 recolección con retención de pase) en las localidades de Paraguaito y La Catalina. En las gráficas, las barras representan a las medias y los bigotes al error estándar, en ambos casos de los valores originales.  $Pr > F^a$ : Significancia de la prueba de F para datos originales.  $Pr > F^b$ : Significancia de la prueba de F para datos transformados.  $Pr > X^2$ : Significancia de la prueba de  $X^2$  para datos no normales. +: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 ( $\alpha=0,05$ ). \*: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabla 2.** Porcentaje de frutos pintones (Pintones\_R), maduros (Maduros\_R) y sobre-maduros (Sobre-maduros\_R) en ramas de café variedad Castillo®, para seis tratamientos y dos controles, en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. Los valores en la tabla corresponden a las medias  $\pm$  error estándar de los valores originales.

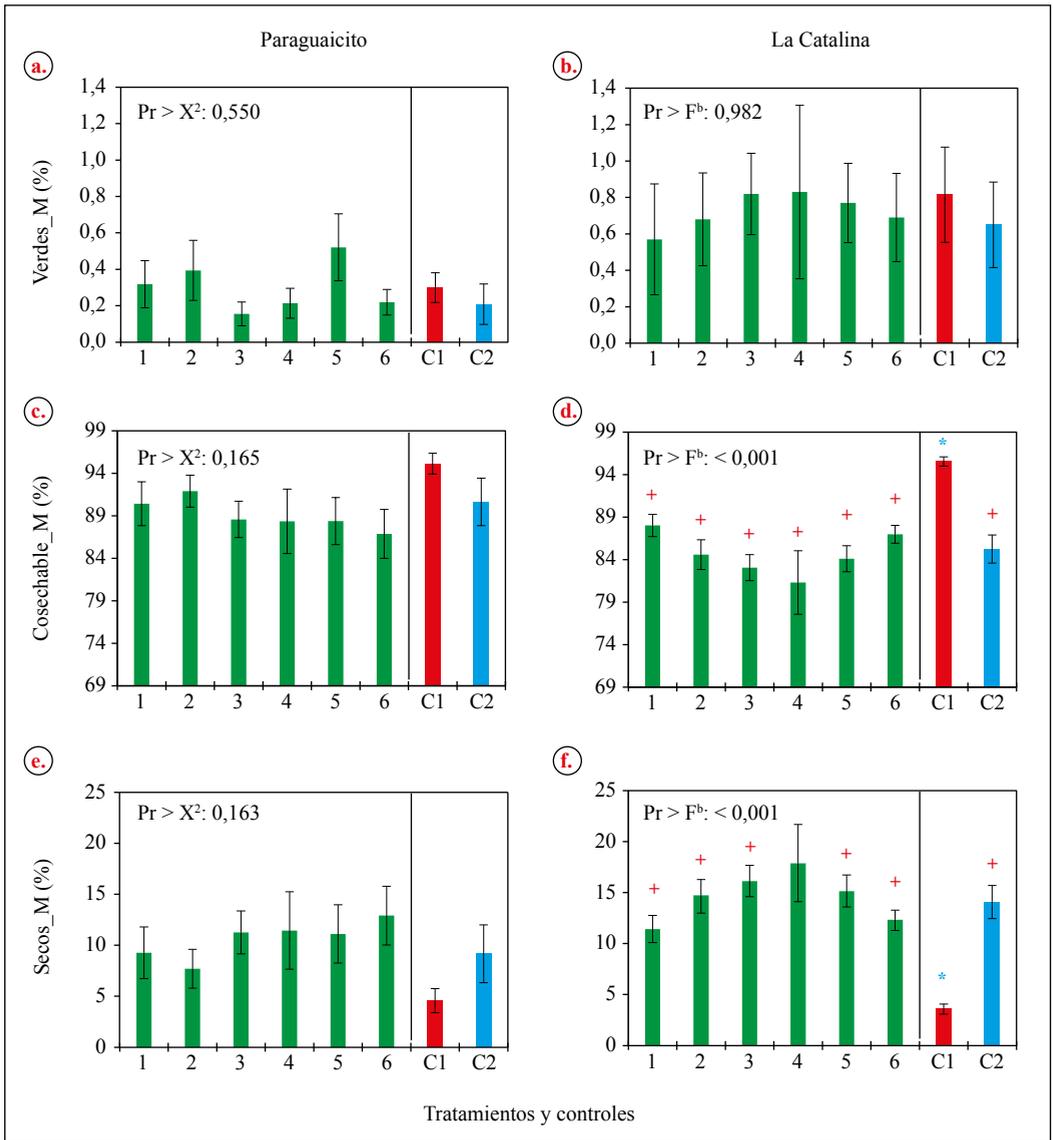
Loc.	Tratamiento / Control	Pintones_R		Maduros_R		Sobre-maduros_R		C1	C2
		C1	C2	C1	C2	C1	C2		
Paraguaicito	1	17 $\pm$ 6	ns	20 $\pm$ 5	+	32 $\pm$ 7	+	x	
	2	20 $\pm$ 8	ns	25 $\pm$ 5	ns	24 $\pm$ 4	+	ns	
	3	17 $\pm$ 4	ns	24 $\pm$ 6	ns	14 $\pm$ 4	ns	ns	
	4	17 $\pm$ 6	ns	18 $\pm$ 3	+	26 $\pm$ 6	+	ns	
	5	17 $\pm$ 4	ns	19 $\pm$ 2	+	17 $\pm$ 4	ns	ns	
	6	20 $\pm$ 6	ns	25 $\pm$ 9	ns	12 $\pm$ 5	ns	ns	
C1		21 $\pm$ 6	ns	42 $\pm$ 7	ns	5 $\pm$ 2		ns	
	C2	25 $\pm$ 5	ns	23 $\pm$ 5	ns	11 $\pm$ 4		ns	
Pr		ns	c	*	a	**	b		

Continúa...

...continuación.

Loc.	Tratamiento / Control	Pintones_R		Maduros_R		Sobre-maduros_R	
		C1	C2	C1	C2	C1	C2
La Catalina	1	7 ± 2	ns	25 ± 4	ns	4 ± 1	ns
	2	5 ± 1	ns	31 ± 4	ns	13 ± 3	ns
	3	3 ± 1	ns	27 ± 4	ns	13 ± 4	ns
	4	5 ± 2	ns	22 ± 4	ns	8 ± 3	ns
	5	6 ± 2	ns	27 ± 5	ns	7 ± 2	ns
	6	4 ± 1	ns	40 ± 6	ns	8 ± 3	ns
	C1	3 ± 2	ns	58 ± 4	x	8 ± 3	ns
	C2	3 ± 1	ns	33 ± 7	+	9 ± 2	ns
	Pr	ns	c	**	a	ns	b

Tratamientos: 1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM; 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM; 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM; 4: semana del ERP-AS 0,5 mM; 5: semana del ERP-AS 1,0 mM; 6: semana del ERP-AS 2,0 mM; C1: Control 1 recolección normal; C2: Control 2 recolección con retención de pase; ns: no significativo; \* y \*\*: indica diferencias significativas al 5% (Pr < 0,05) y al 1% (Pr < 0,01), respectivamente; a: Según la prueba de F para datos originales; b: Según la prueba de F para datos transformados; c: Según la prueba de X<sup>2</sup> para datos no normales; x: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 (α=0,05); \*: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 (α=0,05).



**Figura 3.** Porcentaje de frutos verdes (Verde\_M) [a, b], cosechables (Cosechable\_M) [c, d] y secos (Secos\_M) [e, f] en muestra de 1,0 kg de café variedad Castillo®, para seis tratamientos (1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM, 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM, 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM, 4: semana del ERP-AS 0,5 mM, 5: semana del ERP-AS 1.0 mM, 6: semana del ERP-AS 2,0 mM) y dos controles (C1: Control 1 recolección normal, C2: Control 2 recolección con retención de pase) en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. En las gráficas, las barras representan a las medias y los bigotes al error estándar, en ambos casos de los valores originales.  $Pr > F^a$ : Significancia de la prueba de F para datos originales.  $Pr > F^b$ : Significancia de la prueba de F para datos transformados.  $Pr > X^2$ : Significancia de la Prueba de  $X^2$  para datos no normales. +: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 ( $\alpha=0,05$ ). \*: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 ( $\alpha =0,05$ ).

**Tabla 3.** Porcentaje de frutos pintones (Pintones\_M), maduros (Maduros\_M) y sobre-maduros (Sobre-maduros\_M) en muestra de 1,0 kg de café variedad Castillo®, para seis tratamientos y dos controles, en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. Los valores en la tabla corresponden a las medias ± error estándar de los valores originales.

Loc.	Tratamiento / Control		Pintones_M		Maduros_M		Sobre-maduros_M		C1	C2
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2		
<b>Paraguaicito</b>	<b>1</b>	4 ± 1	+	ns	59 ± 5	ns	27 ± 3	ns	+	ns
	<b>2</b>	9 ± 2	ns	ns	53 ± 4	ns	30 ± 3	ns	+	ns
	<b>3</b>	10 ± 3	ns	ns	56 ± 5	ns	23 ± 3	ns	+	ns
	<b>4</b>	7 ± 3	ns	ns	50 ± 6	ns	32 ± 3	ns	+	ns
	<b>5</b>	6 ± 1	+	ns	51 ± 4	ns	32 ± 3	ns	+	ns
	<b>6</b>	7 ± 2	ns	ns	58 ± 3	ns	22 ± 2	ns	+	ns
<b>La Catalina</b>	<b>C1</b>	19 ± 2	ns	ns	66 ± 3	ns	10 ± 2	ns	x	
	<b>C2</b>	9 ± 2	ns	ns	54 ± 5	ns	28 ± 3	ns	+	
<b>Pr</b>	**	c		ns	a	**	a			

Continúa...

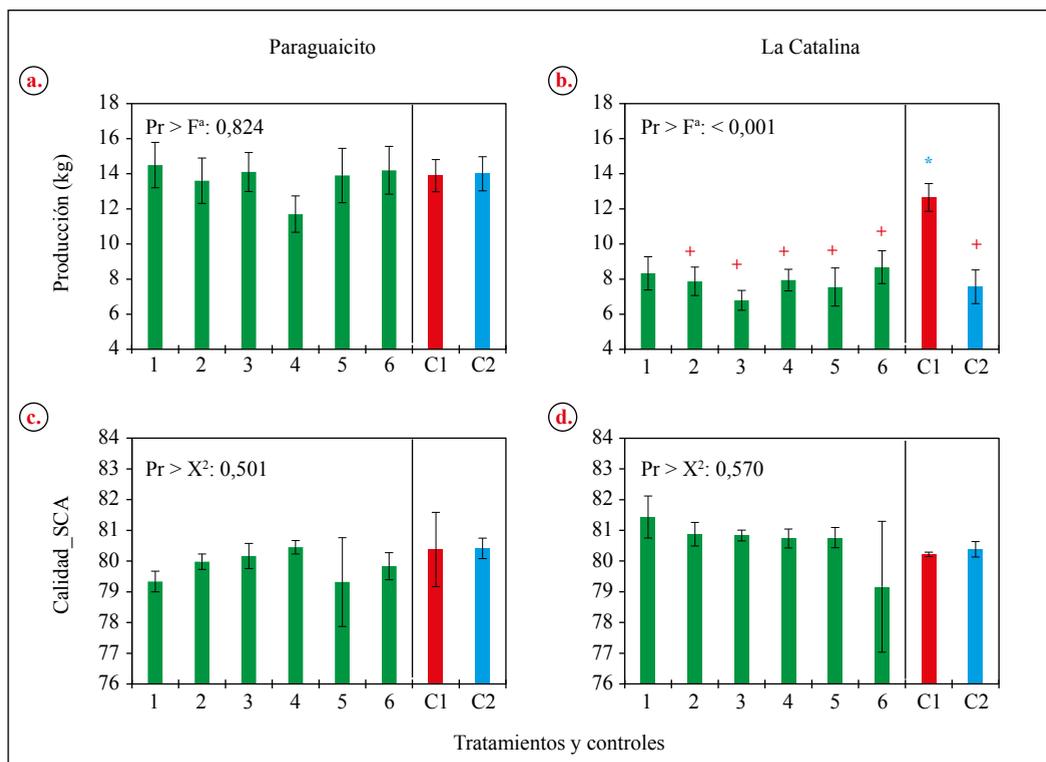
...continuación.

Loc.	Tratamiento / Control		Pintones_M		C1		C2		Maduros_M		C1		C2		Sobre-maduros_M		C1		C2		
La Catalina	1		13 ± 1	1	ns	49 ± 4	4	ns	26 ± 3	26	±	3	+	ns							
	2		11 ± 1	1	ns	53 ± 3	3	ns	21 ± 2	21	±	2	ns	ns							
	3		12 ± 1	1	ns	50 ± 3	3	ns	22 ± 2	22	±	2	+	ns							
	4		11 ± 2	2	ns	47 ± 3	3	ns	23 ± 3	23	±	3	+	ns							
	5		12 ± 1	1	ns	50 ± 2	2	ns	23 ± 1	23	±	1	+	ns							
	6		11 ± 1	1	ns	56 ± 2	2	ns	20 ± 2	20	±	2	+	ns							
	C1		14 ± 2	2	ns	70 ± 2	2	ns	12 ± 1	12	±	1	x								
	C2		10 ± 1	1	ns	48 ± 3	3	ns	26 ± 3	26	±	3	+								
	Pr		ns	a	**	a	**	a	**	**	a	**	a	**	a	**	a	**	a	**	a

Tratamientos: 1: una semana antes ERP - AS 0,5 mM; 2: una semana antes ERP - AS 1,0 mM; 3: una semana antes ERP - AS 2,0 mM; 4: semana del ERP - AS 0,5 mM; 5: semana del ERP - AS 1,0 mM; 6: semana del ERP - AS 2,0 mM; C1: Control 1 recolección normal; C2: Control 2 recolección con retención de pase; ns: no significativo; \* y \*\*: indica diferencias significativas al 5% (Pr < 0,05) y al 1% (Pr < 0,01), respectivamente; a: Según la prueba de F para datos originales; b: Según la prueba de F para datos transformados; c: Según la prueba de X<sup>2</sup> para datos no normales; \*: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 (α=0,05); x: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 (α=0,05).

debido a que los frutos recolectados en el primer pase del C1 pesaron un 47% menos que aquellos de la segunda recolección, hecho que influyó en la menor pérdida de agua y materia seca sobre la masa de los frutos maduros en los tratamientos con AS y el C2. De esta forma, una menor cantidad de frutos maduros perdieron peso desde la primera hasta la segunda recolección, y como resultado de esto las diferencias no fueron apreciables (Figura 4 a). Así como, la mayor

carga de frutos en la segunda recolección de Paraguaicito podría ser la causa de que la diferencia esperada entre el C1 y el C2 en la variable Maduros\_M de Paraguaicito no se hayan presentado (Tabla 3). La calidad sensorial expresada como puntaje total SCA no mostró diferencias significativas entre tratamientos y controles en cuanto a la calidad sensorial en ninguna de las localidades, para las muestras sin defectos en taza (Figura 4 c, d).



**Figura 4.** Producción por parcela y puntaje para la calidad de la muestra según la escala SCA de café variedad Castillo® para seis tratamientos (1: una semana antes ERP-AS 0,5 mM, 2: una semana antes ERP-AS 1,0 mM, 3: una semana antes ERP-AS 2,0 mM, 4: semana del ERP-AS 0,5 mM, 5: semana del ERP-AS 1,0 mM, 6: semana del ERP-AS 2,0 mM) y dos controles (C1: Control 1 recolección normal, C2: Control 2 recolección con tratamientos) en las localidades de Paraguaicito y La Catalina. En las gráficas, las barras representan a las medias y los bigotes al error estándar, en ambos casos de los valores originales. Pr > F<sup>a</sup>: Significancia de la prueba de F para datos originales. Pr > F<sup>b</sup>: Significancia de la prueba de F para datos transformados. Pr > X<sup>2</sup>: Significancia de la prueba de X<sup>2</sup> para datos no normales. +: tratamientos (1-6) o C2 que son estadísticamente diferentes al C1 ( $\alpha=0,05$ ). \*: tratamientos (1-6) o C1 que son estadísticamente diferentes al C2 ( $\alpha=0,05$ ).

## DISCUSIÓN

El nulo efecto del AS respecto a los controles (C1 y C2) en Paraguaicito (Figura 2 a, c, e, g) sería en parte explicado por el acelerado desarrollo fenológico de los frutos a nivel de ramas, a causa de la mayor temperatura durante el periodo de evaluación (Figura 1 a); este hecho se evidencia con un mayor porcentaje de frutos caídos en promedio para Paraguaicito (media= 21%) con respecto a La Catalina (media= 15%), donde la temperatura fue menor (Figura 1 b), además de una menor proporción de frutos verdes en Paraguaicito (media= 11%) en relación con La Catalina (media= 19%). De acuerdo con Silva et al. (2017), el incremento en la temperatura disminuyó la fuerza de desprendimiento de los frutos verdes y maduros, debido al estímulo que tiene este factor en la producción de etileno, y como resultado la abscisión de frutos se incrementó. El efecto de la temperatura también pudo haber influido en los resultados obtenidos en las muestras de 1,0 kg para Paraguaicito, donde tampoco se detectaron diferencias significativas (Figura 3 a, c, e). Además, en este sitio se observó que la masa recolectada en el primer pase del C1 fue menor que la recolectada en el segundo, indicando que una menor cantidad de frutos fue afectada por el AS en Paraguaicito.

En el caso de La Catalina, las aplicaciones de AS de los tratamientos 2 y 6 presentaron un efecto reducido sobre el desarrollo, aunque detectable en la proporción de los frutos cosechables a nivel de ramas, puesto que no llegaron a presentar diferencias estadísticas con el control de recolección normal (C1) (Figura 2 d). Por otra parte, la proporción de frutos secos a nivel de ramas en el tratamiento 6 no presentó diferencias con el C1, mientras que ambos fueron estadísticamente inferiores al control de recolección con retención de pase (C2) (Figura 2 f). Lo anterior implica que, el

desarrollo de los frutos fue retardado, y como resultado, se aprecia un ligero incremento de los frutos cosechables (Figura 2 d) y de menores proporciones de frutos en estados más senescentes (frutos secos y caídos) a nivel de rama (Figura 2 f). Aunque para los frutos caídos no se encontraron diferencias estadísticas, el tratamiento 6 exhibe una menor proporción respecto al control de recolección con pase retenido (C2). La concentración de AS del tratamiento 2 ( $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ ) se ha reportado previamente retardando el desarrollo de los frutos de café durante precosecha a nivel de muestra (Unigarro et al., 2018) y retardando el cambio de color en *Malus domestica* Borkh (manzano) “Golden Delicious” (Berlanga et al., 2011) y *Prunus armeniaca* L. (albaricoque) (Cui et al., 2020). Por otra parte, la concentración de AS del tratamiento 6 ( $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ ) ha mejorado el índice de calidad general y reducido la producción de etileno en fresa, cuando se aplicó durante el desarrollo del fruto y en poscosecha (Babalar et al., 2007). No obstante, lo observado a nivel de ramas solo mostró concordancia a nivel de muestra con una leve reducción de frutos sobremaduros (Tabla 3), pero no con respecto a la proporción de frutos cosechables o al resto de las características de desarrollo (Figura 3, Tabla 3). Esto muy posiblemente se debe a que, a nivel de rama, el efecto de los tratamientos 2 y 6 solo fue leve (sin diferencias con C1), pero sin llegar a ser estadísticamente significativo respecto a la recolección con pase retenido (C2), hecho que no habría permitido una modificación notable en la proporción de frutos cosechables a nivel de muestra, más aún si se toma en cuenta, que las proporciones de muestra no consideran la abscisión de frutos. Adicionalmente, es importante resaltar el papel de la precipitación durante el periodo de maduración, puesto que al ser tan alta (Figura 1 b) podría haber reducido los potenciales efectos del AS. En el estudio de Unigarro et al. (2018) cuando la precipitación fue de

364 mm, durante el período de maduración, el desarrollo de los frutos en muestra de 1,0 kg no fue afectado por efecto del AS, caso que podría aplicar al presente estudio donde la precipitación fue de 379 mm (Figura 1 b).

Todo lo anterior muestra que, a pesar de encontrarse algunos efectos por parte del AS en el desarrollo fenológico de frutos a nivel de rama, las condiciones de precipitación y temperatura durante el período de maduración limitaron notablemente un efecto general sobre la masa cosechada, siempre y cuando, esta consideración se enmarque bajo la permanencia de los frutos maduros en la planta (precosecha) por más de 20 días a partir de ERP, tanto en el presente estudio como en anteriores (Unigarro et al., 2018). Puesto que cabe la posibilidad de que al reducir el tiempo de permanencia de los frutos maduros en la planta (e.i. 15 días a partir del ERP), se mejore el efecto del AS, no obstante, esto requiere ser evaluado. También debe considerarse que algunas condiciones de precipitación y temperatura podrían limitar el desempeño del AS, así como de otros inhibidores de etileno. Esto podría explicar en parte la variedad de respuestas encontradas para el acetato de potasio, otro inhibidor de etileno probado en café, que ha mostrado tanto respuestas positivas (Barbosa et al., 2011; R. A. Silva et al., 2013) como negativas (Rodrigues, 2015; Unigarro et al., 2018).

Puede concluirse que el inhibidor AS aplicado una semana antes del evento de recolección principal a una dosis de 1,0 mmol L<sup>-1</sup> (tratamiento 2) y en la semana del evento de recolección principal a una dosis de 2,0 mmol L<sup>-1</sup> (tratamiento 6) tuvo efectos sobre el desarrollo fenológico de los frutos cosechables y secos a nivel de rama; y levemente al nivel de muestra en el porcentaje de los frutos sobremaduros, pero no en el porcentaje de los frutos cosechables

para La Catalina, indicando que el efecto del AS fue limitado. En Paraguaicito tanto a nivel de rama como al de muestra, no se destaca ninguna respuesta en relación con la maduración fenológica de los frutos. En este sentido podría concluirse que, a pesar de los efectos encontrados en el presente estudio con respecto al AS sobre el desarrollo fenológico de los frutos de café a nivel de rama, no son lo suficientemente contundentes para recomendar su uso, principalmente porque su desempeño a nivel de muestra fue bajo y posiblemente afectado por las condiciones de precipitación y temperatura que ocurrieron durante la retención del pase. No obstante, esta consideración se limita a pases retenidos por más de 20 días a partir del evento de recolección principal, por ello, períodos menores de tiempo deberían ser considerados en futuros estudios. De igual manera, una prueba de concepto debería ser realizada para verificar si el AS inhibe eficientemente las rutas metabólicas de la síntesis de etileno en café. Las variables producción de café cereza y el puntaje total SCA no presentaron ninguna respuesta destacable por acción de los inhibidores.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Los autores agradecen a los colaboradores de la Disciplina de Experimentación (Mélsar Santamaría y Daniel Franco), al personal de la Disciplina de Fisiología Vegetal (Claudia Valencia, Aristóteles Ortiz y Mario Franco), al equipo de Calidad de Cenicafé (Claudia Gallego, Claudia Gómez, Luz Echeverri y Paola Calderón) y al personal de apoyo a la investigación en las Estaciones Experimentales de Paraguaicito y La Catalina, por su valiosa colaboración.

## LITERATURA CITADA

- Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit, J. (1992). *Ethylene in Plant Biology* (2nd ed). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-03226-7>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., & Wicke, H. (2002). Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea spp.*). *Annals of Applied Biology*, *141*(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x>
- Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A., & Khosroshahi, A. (2007). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry*, *105*(2), 449–453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.021>
- Balaguera, H. E., Salamanca, F. A., García, J. C., & Herrera, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *8*(2), 302–313. <https://doi.org/10.17584/rceh.2014v8i2.3222>
- Barbosa, D. H. S. G., Barbosa, D. S. G., Ribeiro, J. N., & Lauer, A. N. (2011). Efeito do Mathury na uniformidade de maturação do cafeeiro. 37 Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/6173>
- Berlanga, D. I., Guerrero, V. M., & Ornelas, J. J. (2011). Productos alternativos a la aminoetoxivinilglicina para el control de la producción de etileno en manzana 'Golden Delicious'. *Tecnociencia*, *5*(2), 83–89. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/698>
- Brunner, E., Bathke, A. C., & Konietzschke, F. (2018). *Rank and Pseudo-Rank Procedures for Independent Observations in Factorial Designs: Using R and SAS*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02914-2>
- Camayo, G. C., Chaves, B., Arcila, J., & Jaramillo, A. (2003). Desarrollo floral del café y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas. *Revista Cenicafé*, *54*(1), 35–49. <http://hdl.handle.net/10778/264>
- Chamkha, M., Cathala, B., Cheynier, V., & Douillard, R. (2003). Phenolic Composition of Champagnes from Chardonnay and Pinot Noir Vintages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(10), 3179–3184. <https://doi.org/10.1021/jf021105j>
- Cui, K., Shu, C., Zhao, H., Fan, X., Cao, J., & Jiang, W. (2020). Preharvest chitosan oligochitosan and salicylic acid treatments enhance phenol metabolism and maintain the postharvest quality of apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, *267*, 109334. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109334>
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2010). Coffee: Environment and Crop Physiology. En F. DaMatta (Ed.), *Ecophysiology of tropical tree crops* (pp. 181–216). Nova Science Publishers.
- Davies, C., & Böttcher, C. (2014). Other hormonal signals during ripening. En P. Nath, M. Bouzayen, A. K. Mattoo, & J. C. Pech (Eds.), *Fruit ripening: Physiology, signalling and genomics*. (pp. 202–216). CABI, Oxfordshire.
- Davis, A. P., Tosh, J., Ruch, N., & Fay, M. F. (2011). Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of Coffea. *Botanical Journal of the Linnean Society*, *167*(4), 357–377. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>
- Dias, R. E. B. A., Silva, F. M. da, Cunha, J. P. B., Avelar, R. C., & Fernandes, F. C. (2014). Eficiência da colheita mecanizada do café com uso do inibidor de biossíntese de etileno. *Coffee Science*, *9*(4), 527–536. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/746>
- El-Sharkawy, I., Kim, W. S., El-Kereamy, A., Jayasankar, S., Svircev, A. M., & Brown, D. C. W. (2007). Isolation and characterization of four ethylene signal transduction elements in plums (*Prunus salicina* L.). *Journal of Experimental Botany*, *58*(13), 3631–3643. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm213>
- Elwan, M. W. M., & El-Hamahmy, M. A. M. (2009). Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Scientia Horticulturae*, *122*(4), 521–526. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.07.001>
- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, *98*(2), 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.032>

- Federación Nacional de Cafeteros. (2020). *Estadísticas Cafeteras*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>
- Giovannoni, J. J. (2004). Genetic Regulation of Fruit Development and Ripening. *The Plant Cell*, *16*(suppl\_1), S170–S180. <https://doi.org/10.1105/tpc.019158>
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, Mohd., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, *68*(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
- International Coffee Organization. (2019). *Trade Statistics Tables*. [http://www.ico.org/trade\\_statistics.asp?section=Statistics](http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics)
- Karlidag, H., Yildirim, E., & Turan, M. (2009). Exogenous applications of salicylic acid affect quality and yield of strawberry grown under antifrost heated greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *172*(2), 270–276. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800058>
- Lashermes, P., Andrade, A. C., & Etienne, H. (2008). Genomics of Coffee One of the World's Largest Traded Commodities. En P. H. Moore & R. Ming (Eds.), *Genomics of Tropical Crop Plants* (Vol. 1, pp. 203–226). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-71219-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-71219-2_9)
- Lelievre, J.-M., Latche, A., Jones, B., Bouzayen, M., & Pech, J.-C. (1997). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, *101*(4), 727–739. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01057.x>
- Leslie, C. A., & Romani, R. J. (1986). Salicylic acid: A new inhibitor of ethylene biosynthesis. *Plant Cell Reports*, *5*(2), 144–146. <https://doi.org/10.1007/BF00269255>
- Leslie, C. A., & Romani, R. J. (1988). Inhibition of Ethylene Biosynthesis by Salicylic Acid. *Plant Physiology*, *88*(3), 833–837. <https://doi.org/10.1104/pp.88.3.833>
- Lo'ay, A. A. (2017). Preharvest salicylic acid and delay ripening of 'superior seedless' grapes. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, *4*(3), 227–230. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2017.04.006>
- Marin, S. M., Arcila, A., Montoya, E. C., & Oliveros, C. E. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Revista Cenicafé*, *54*(4), 297–315. <http://hdl.handle.net/10778/254>
- Marzouk, H. A., & Kassem, H. A. (2011). Improving yield, quality, and shelf life of Thompson seedless grapevine by preharvest foliar applications. *Scientia Horticulturae*, *130*(2), 425–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.013>
- Pérez-Llorca, M., Muñoz, P., Müller, M., & Munné-Bosch, S. (2019). Biosynthesis, Metabolism and Function of Auxin, Salicylic Acid and Melatonin in Climacteric and Non-climacteric Fruits. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 136. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00136>
- Pereira, L. F. P., Galvão, R. M., Kobayashi, A. K., Cação, S. M. B., & Vieira, L. G. E. (2005). Ethylene production and acc oxidase gene expression during fruit ripening of *Coffea arabica* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *17*(3), 283–289. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000300002>
- Périn, C., Gomez-Jimenez, M., Hagen, L., Dogimont, C., Pech, J.-C., Latché, A., Pitrat, M., & Lelièvre, J.-M. (2002). Molecular and Genetic Characterization of a Non-Climacteric Phenotype in Melon Reveals Two Loci Conferring Altered Ethylene Response in Fruit. *Plant Physiology*, *129*(1), 300–309. <https://doi.org/10.1104/pp.010613>
- Prasanna, V., Prabha, T. N., & Tharanathan, R. N. (2007). Fruit Ripening Phenomena—An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *47*(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/10408390600976841>
- Puerta, G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*, *51*(2), 136–150. <http://hdl.handle.net/10778/65>
- Rodrigues, J. P. B. (2015). *Efeito do mathurytm e ethephon na maturação dos frutos e qualidade da bebida de café* [Tesis de maestría]. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11284>
- Sabin, T. E., & Stafford, S. G. (1990). *Assessing the need for transformation of response variables* (Número 20; Special publication, p. 31). Forest Research Laboratory, Oregon State University. <http://hdl.handle.net/1957/32209>
- Ságio, S. A., Barreto, H. G., Lima, A. A., Moreira, R. O., Rezende, P. M., Paiva, L. V., & Chalfun-Junior, A. (2014). Identification and expression analysis of ethylene biosynthesis and signaling genes provides insights into the early and late coffee cultivars ripening pathway. *Planta*, *239*(5), 951–963. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2026-1>

- Ságio, S. A., Lima, A. A., Barreto, H. G., de Carvalho, C. H. S., Paiva, L. V., & Chalfun-Junior, A. (2013). Physiological and molecular analyses of early and late *Coffea arabica* cultivars at different stages of fruit ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(11), 3091–3098. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1342-6>
- Sanz-Urbe, J. R., & Duque, H. (2020). Evaluación de la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Revista Cenicafé*, 71(2), 92–104. <https://doi.org/10.38141/10778/71207>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Rivera, R. D. (2018). Retención de pases: una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 488, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4218>
- SAS Institute Inc. (2018). *SAS/STAT® 15.1 User's Guide*. SAS Institute Inc.
- Scudeler, F., Raetano, C. G., Araújo, D. de, & Bauer, F. C. (2004). Cobertura da pulverização e maturação de frutos do cafeeiro com ethephon em diferentes condições operacionais. *Bragantia*, 63(1), 129–139. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052004000100013>
- Serna, L., Torres, L. S., & Ayala, A. A. (2012). Effect of pre- and postharvest application of 1-methylcyclopropene on the maturation of yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Vitae*, 19(1), 49–59.
- Shafiee, M., Taghavi, T. S., & Babalar, M. (2010). Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.004>
- Da Silva, F. C., Da Silva, F. M., Sales, R. S., Ferraz, G. A., & De Barros, M. M. (2017). Variáveis meteorológicas e da umidade do solo na força de desprendimento dos frutos do café. *Coffee Science*, 12(4), 480–485. <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1351>
- Silva, R. A., Matsumoto, S. N., Marques, G., de Oliveira, P. N., & de Oliveira, L. S. (2013). Efeito do Mathury® na maturação de frutos de café variedade Catuaí Vermelho. *Cultivando o Saber*, 6(3), 66–74.
- Srivastava, M. K., & Dwivedi, U. N. (2000). Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science*, 158(1–2), 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00304-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00304-6)
- Unigarro, C. A., Flórez, C. P., Oliveros, C. E., & Cañón, M. (2018). Efecto de cuatro inhibidores de etileno en la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante precosecha. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 500–507. <https://doi.org/10.17584/rchch.2018v12i2.7667>
- Upegui, G., & Valencia, G. (1972). Anticipación de la maduración de la cosecha de café con aplicaciones de Ethrel. *Revista Cenicafé*, 23(1), 19–26. <http://hdl.handle.net/10778/787>
- Wang, Y.-Y., Li, B.-Q., Qin, G.-Z., Li, L., & Tian, S.-P. (2011). Defense response of tomato fruit at different maturity stages to salicylic acid and ethephon. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.021>
- Winston, E., Houlst, M., Howitt, C., & Shepherd, R. (1992). Ethylene-induced fruit ripening in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 32(3), 401–408. <https://doi.org/10.1071/EA9920401>
- Yamane, M., Abe, D., Yasui, S., Yokotani, N., Kimata, W., Ushijima, K., Nakano, R., Kubo, Y., & Inaba, A. (2007). Differential expression of ethylene biosynthetic genes in climacteric and non-climacteric Chinese pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.010>